

grotte cosquer

(3ème partie)

restitution photogrammétrique

Maurice Blaustein (SETP Salon de Provence)

HISTORIQUE

En 1994, le Ministère de la culture et la Ville de Marseille décident d'organiser une mission dans la Grotte Cosquer -grotte ornée découverte quelques années plus tôt- dans le but d'y effectuer toutes les mesures géométriques nécessaires à une reconstitution virtuelle propre à satisfaire tant des besoins scientifiques que des besoins muséologiques.

Une telle reconstitution permettra en effet, d'une part, pour les Archéologues, de situer avec précision, en 3D, toutes les œuvres pariétales dans leur environnement reconstitué, et d'autre part, pour le public, de pouvoir accéder, grâce aux techniques les plus modernes, à un espace patrimonial du plus grand intérêt mais, hélas, inaccessible directement.

Une grotte ornée, du plus grand intérêt, reconstituée en XYZ ne pouvait laisser notre revue indifférente ! C'est pourquoi nous présentons le troisième volet d'une série d'articles parus déjà dans nos numéros précédents : 66 et 67

Ce présent article traitera des interventions topographique et photogrammétrique.

Préalablement, il n'est pas superflu de retracer l'historique de cette mission complexe afin de bien préciser pourquoi, hormis la topographie, deux techniques de saisie ont été utilisées conjointement : la télémétrie LASER et la photogrammétrie.

Le temps imparti à la mission était court ; il avait été fixé à une dizaine de jours. L'accès à la grotte, comme on le sait est sous-marin et le long siphon qui permet d'y accéder implique que les plongeurs qui s'y engagent soient très confirmés. Dans l'impossibilité de former aussi vite des topographes et des photogramètres à ce type de plongée, il fallut se résoudre à une démarche inverse : former des plongeurs à la topographie et à la photogrammétrie. Ainsi furent formés 4 plongeurs de DRASSM dont le photographe du Service. Formation rapide de quelques jours, mais qui, grâce à la présence constante d'un Assistant technique hors de la grotte, depuis la surface, permettra tout de même, lors de la mission, d'atteindre les buts fixés.

Deux autres opérateurs photogramètres furent encore formés par la suite lorsqu'il s'avéra que le travail était plus complexe que prévu.



La chambre métrique et les photographes

Malgré tout, il sembla vite évident que la totalité de la saisie photogrammétrique avait peu de chance d'être atteinte en un temps aussi court.

Connaissant les performances du télémètre LASER SOISIC (voir XYZ n°67) le Ministère de la Culture et la Ville de Marseille demandèrent au Mécénat technologique de EDF de bien vouloir apporter son aide et son savoir-faire en participant à cette mission. De cette façon, en doublant les capacités de saisie on pouvait penser mieux réussir le défi. Il semblait, de plus, pertinent de conjuguer les performances de ces deux types de capteur. Aussi fut-il décidé que le télémètre LASER serait réservé en priorité dans les zones de la grotte les plus accessibles et que la photogrammétrie, elle, serait d'abord utilisée pour les zones peintes et les parties de la grotte les moins accessibles (zones inondée ou à plafond très bas).

En cours de mission, une heureuse complémentarité entre les deux capteurs fut constatée et ce qui avait été sollicité pour combler un manque de temps s'avéra être une solution fructueuse également sur le plan technique (énorme quantité de points saisis par le SOISIC et sa possibilité d'enregistrer des images vidéo parfaitement superposables à la géométrie des parois).

La photogrammétrie, par contre restait plus souple pour résoudre les difficultés créées par les zones très étroites ou inondées mais encore permettait d'effectuer un archivage tridimensionnel fidèle et précis qui représentera pour les Archéologues l'état distance à laquelle sont prises les photographies et permettra toujours une définition maximum propre à satisfaire les exigences scientifiques.



L'entrée de la Grotte (- 30 mètres)

L'entrée du matériel dans la grotte nécessita des caissons spéciaux. Le matériel entré fut le suivant :

- Deux chambres métriques UMK ZEISS de focales respectives 100 et 65 m.m pour des formats 13*18.
- Un ROLLEI métrique 6006 de focale 40 m.m pour un format 6*6.
- Un appareil 24*36 calibré PENTAX avec focale de 15 m.m.
- Deux théodolites LEICA TC2002 avec carnets électroniques.
- Trépieds règles et accessoires.
- Cibles et ciment pour le Canevas topographique.

CANEVAS TOPOGRAPHIQUE

La première tâche, dans la grotte, fut tout d'abord d'implanter le matériel propre à matérialiser le canevas topographique de base. Ce canevas était composé de 6 cibles rétro réfléchissantes collées sur des axes pivotants montés sur socles eux-mêmes scellés sur les rochers. Les socles devaient être disposés de manière que de toute station future on puisse viser au moins deux d'entre eux afin de pouvoir s'y rattacher par rayonnement. En réalité, compte tenu de l'environnement, il fallu étendre à 50 le nombre des cibles. Ces cibles supplémentaires ne purent être scellées et ne furent donc pas pivotantes, d'où leur nombre élevé. Pour les fixer sans attenter à la détérioration, même minime, des parois, des moyens de fortune furent utilisés mais, malgré tout, avec succès.

Les mesures de ce canevas ont été réalisées avec les TC2002 par deux équipes composée chacune de deux personnes : un opérateur-chef de brigade et un aide. Le Responsable de la mission archéologique, Luc Long Conservateur au DRASSM et plongeur, occupait lui-même l'un des postes de chef de brigade et, en coordination avec Maurice Blaustein, le Responsable-photogrammétrie resté en surface sur l'Archéonaute, assurait la gestion des travaux sur site. Pendant toute la durée de la mission, en effet, ce navire qui soutenait toute la

logistique de plongée, restait amarré aux rochers des Calanques, à l'aplomb de l'entrée de la grotte et en contacts radio et vidéo constants.

Les calculs étaient effectués à bord de l'Archéonaute par le responsable de la mission photogramétrique.

La cohérence du canevas s'est avérée inférieure au centimètre, ce qui, compte tenu des conditions particulières qui ont été énumérées, a été estimé suffisant (visées maximum de 30 mètres).

Ce canevas de base aura deux buts :

1 - Servir de rattachement aux centaines de points de calage qui seront nécessaires à l'équipement des couples stéréoscopiques.

2 - Servir à exprimer les saisies du télémètre LASER dans un référentiel commun avec la photogrammétrie (voir article s'y rapportant dans le n° 66 de XYZ).

PRISE DE VUES PHOTOGRAMMÉTRIQUE

Toutes les prises de vues furent réalisées en stéréoscopie avec un recouvrement de 80% environ. Les grandes différences d'éloignement dans un même couple obligèrent en effet à adopter ce recouvrement important qui permettra à l'opérateur photogrammètre une observation stéréoscopique plus aisée.

Pour des raisons de commodité le support photographique employé fut le plan-film. Les châssis qui contiennent les plan-films sont en effet d'un emploi plus commode que les films en rouleau qui entraînent la manipulation d'un dos film encombrant. Par contre ce choix impliquait de remonter à la surface, à l'issue de chaque plongée les châssis des vues exposées.

Les prises de vues ont été réalisées en bandes stéréoscopiques ; ceci dans un double but : d'abord, bien sûr, de minimiser le nombre des points de calage en exploitant les bandes en aérotriangulation et ensuite de s'assurer plus facilement de l'exhaustivité de la couverture.



Les prises de vues sont, autant que faire se peut, normales aux parois, afin de se placer dans les meilleures conditions d'observation des peintures et des traces anthropiques lors de la restitution. Cette contrainte a entraîné une multiplication des bandes ; souvent, un site est couvert par une bande horizontale, une bande azimutale et une bande oblique pour assurer le recouvrement.

Le Pentax avec une optique de 15 m.m (environ : 120 degrés) a été utilisé dans les zones les plus étroites, là où le photographe ne pouvait que s'allonger sur le dos. Dans les cas les plus extrêmes, les couples stéréoscopiques étaient réalisés ainsi :

Le photographe tenait son appareil entre les mains, l'œil au viseur et un aide le tirait par les pieds de façon à assurer une translation des plus correctes possibles pour satisfaire à un quasi parallélisme des axes optiques (+ ou - 5 degrés) ; Cette procédure a été couronnée de succès !

Quant aux prises de vues à l'aide des chambres métriques UMK, elles étaient réalisées sur pied quand cela était possible. Sinon le photographe prenait la chambre également dans les bras ; une bonne capacité d'orientation dans l'espace est alors requise de la part de l'opérateur pour assurer la parallélisme des axes entre les vues successives d'une même bande.



SUIVI DE LA MISSION ORGANISATION DE LA SIMULTANÉITÉ DES PRISES DE VUES ET DE LA STÉRÉOPRÉPARATION

La stéréopréparation d'une prise de vue photogrammétrique consiste à déterminer les points de calage des couples stéréoscopiques afin de rendre possible leur restitution dans un référentiel unique. Ce sont les deux équipes de topographes qui se chargèrent de ce travail.

Les points de calage ne pouvaient être que de trois sortes :

- point du canevas se situant opportunément dans un couple,
- détails formés par les aspérités naturelles de la grotte,
- détails formés par des taches ou des lignes caractéristiques des parois.

En aucun cas il n'était question de relever des détails de peintures rupestres, puisque, par le mode de relevé topographique choisi : le rayonnement avec distance-mètre, on ne peut effectuer les mesures de distance qu'en superposant une cible rétro réfléchissante sur le détail à relever ; toucher aux peintures était bien sûr, formellement proscrit. De même qu'il était proscrit de fixer tout repère dans les parois.

Ces contraintes rajoutaient aux difficultés de l'environnement. Il fallait donc d'abord effectuer les photographies puis déterminer sous stéréoscope les emplacements possibles des points de calage et les marquer sur

des tirages avant de les confier aux opérateurs topographes. Ce qui avait été préparé de la sorte n'était pas toujours exécutable par suite des difficultés du site. Dans ce cas l'opérateur décidait sur place de la modification à apporter et devait faire un croquis identifiant le point retenu. La gestion de toutes ces opérations fut la tâche essentielle du Responsable de mission restant en surface.

Le processus adopté fut celui-ci :

1 - Prise de vues réalisée selon le choix de l'opérateur photogrammètre.

2 - Remontée des châssis contenant les films à l'issue de la plongée.

3 - Retour à terre, développement des films et tirages de contacts pendant la nuit.

4 - Le lendemain, pendant le trajet qui mène par mer sur le site (une heure et demi), analyse des photographies, choix des points de calage et leur marquage sur les tirages contacts.

5 - Réunion de coordination avant la plongée :

- remise des photographies stéréopréparées aux topographes,

- analyse du retour d'expérience pour les photographes : reprises éventuelles et définition des nouvelles prises de vues.

6 - Pendant la durée des opérations dans la grotte, à partir du soutien logistique en surface, l'Archéonaute, assistance radio du Responsable de mission afin de conseiller les équipes pour tenter de résoudre leurs difficultés.

7 - A la remontée de plongée, le soir, et pendant le trajet de retour à terre, dépouillement des carnets électroniques des théodolites, calculs, analyse et conseils aux topographes.

Puis de nouveau : séquences de 3 à 5

Il a été réalisé ainsi 1 115 photographies et 464 points de calage en 15 journées de travail effectif dans la grotte.

Nombre d'Opérateurs et Aides : 4

Chef de mission et Assistant de surface : 1

Assistant laboratoire photo : 1

Le mauvais temps, mer trop forte pour que l'Archéonaute puisse se maintenir en position au dessus de l'entrée de la grotte, amarré au rocher, vint alourdir le planning prévu et par deux fois, il fut décidé de prolonger la mission.

LA RESTITUTION DES COUPLES STÉRÉOSCOPIQUES

La réalisation de la restitution s'effectue actuellement au siège de la SETP à Salon de Provence, donc à proximité à la fois du donneur d'ordre : l'IIRIAM, mandaté par la Mairie de Marseille et Maître-d'Œuvre de la

navigation virtuelle du futur produit muséologique, et des Archéologues dont Jean Courtin, Responsable scientifique de la grotte. Des contacts indispensables avec le Service de la Direction des Études et Recherches de l'EDF qui traite les données SOISIC permet de délimiter les zones limitrophes entre cette saisie et la photogrammétrie.

Préalablement à la restitution, des calculs d'aérotriangulation créent des points de calage supplémentaires pour permettre l'orientation de tous les couples. A cette occasion sont décelées les erreurs d'identification qui ne pouvaient pas ne pas manquer dans les conditions si exceptionnelles où furent réalisées les mesures terrains.

Une autre source de points de calage des couples stéréoscopiques, dans les zones qui se recoupent avec la saisie SOISIC, consiste en la recherche de points remarquables dans cette saisie et identifiables également sur les photographies. La grande densité de points de la saisie SOISIC permet en effet d'identifier avec une extrapolation acceptable des détails tels que des extrémités de stalactite par exemple.

La restitution est réalisée sur un stéréorestituteur analytique INTERMAP.

Les couples équipés de points de calage issus de l'aérotriangulation bénéficient d'orientations automatiques. Les orientations une fois réalisées, il est procédé d'abord à une restitution de points selon des plans parallèles avec une densité fixée à 400 par mètre carré. Les fractures et brusques changements morphologiques bénéficient d'un surcroît de point afin de mieux les défi-

nir. Ce modèle numérique de terrain une fois enregistré, les périmètres des dessins et traces anthropiques sont numérisés à leur tour avec une densité suffisante pour permettre plus tard le placage précis des vues en couleur.

On pourra s'étonner de constater que la restitution numérique n'a pas été employée dans cette application qui pourtant pouvait la laisser envisager. La raison en est que les algorithmes de reconnaissance de formes sur lesquels cette restitution est fondée se seraient montrés impuissants à résoudre les problèmes posés par les ruptures de plans si nombreux dans une grotte de ce type.

L'observation stéréoscopique humaine est dans ce cas parfois elle-même bien difficile.

D'autre part, il est évident que seul la stéréophotogrammétrie est utilisable pour la restitution en continue qu'impose un tel environnement ; La méthode photogrammétrique dite : «convergente», employée communément pour la métrologie, est bien sûr exclue pour ce type d'application.

MODÉLISATION ET PLACAGE DES PEINTURES

Ces travaux sont exécutés parallèlement par L'IIRIAM (Institut International de Robotique et d'intelligence Artificielle de Marseille) pour la Mairie de Marseille et par le Service IMA de la Direction des Études et Recherches pour EDF. Ces deux organismes ayant chacun leurs spécificités et leurs buts propres.

Série d'articles publiée avec l'aimable autorisation du Ministère de la Culture, de la Ville de Marseille et d'Electricité de France.

TOUS LES SERVICES POUR LA PHOTO AÉRIENNE COULEUR

- Développement films négatif et diapositive AGFA/KODAK
 - Tirage sur film positif pour restituteur
 - Contact papier couleur avec dodging
 - Mosaique papier
 - Agrandissement papier couleur avec correction densité et mise à l'échelle
 - Des références - clients européennes
- Pour informations n'hésitez pas à nous contacter*

diaprint

THE EUROPEAN AERIAL COLOR PHOTO LAB

73, rue des Javaux - 38320 Eybens / Grenoble - France - Tél. (33) 04 76 25 13 41 - Fax (33) 04 76 25 76 44